

Jaap van den Herik

Leiden Centre of Data Science
Universiteit Leiden
h.j.vandenherik@law.leidenuniv.nl

Geschiedenis

Computerschaak: van idee tot DeepMind

Het afgelopen jaar versloeg het computerprogramma AlphaGo voor het eerst een wereldkampioen Go. Een paar maanden later kwam DeepMind (Google) met het op deep learning gebaseerde AlphaGo Zero, dat nog veel sterker bleek: AlphaGo Zero versloeg AlphaGo met 100-0. In het schaken was de computer al eerder de mens de baas, maar ook hier zorgde deep learning voor een doorbraak. AlphaZero, de schaaversie van AlphaGo Zero, versloeg het programma Stockfish met 28-0 bij 72 remises. In dit artikel geeft Jaap van den Herik, hoogleraar informatica en recht aan de Universiteit Leiden, een historisch overzicht van de ontwikkelingen in het computerschaak. Hij is al decennialang een leidende figuur op dit gebied.

Dit artikel geeft een overzicht van de ontwikkeling van het computerschaak. Wat is er nodig geweest om de menselijke wereldkampioen te verslaan? Hoe zit het met *intuïtie*? Wat zijn de grote doorbraken geweest? En welke toponderzoekers hebben (veel) van hun tijd besteed aan het computerschaak? Het zijn allemaal interessante onderwerpen en er is maar een beperkte ruimte om ze te bespreken. Voor een goed overzicht heb ik de chronologie genomen en daarbinnen getracht de belangrijkste items in het volle daglicht te stellen aan de hand van de hierboven gestelde vragen.

1770–1940 De eerste schaakmachines

Door de eeuwen heen heeft computerschaak de fantasie geprikkeld. “I will invent a machine for a more compelling spectacle within half a year”, beloofde Baron van Kempelen aan keizerin Maria Theresia na een demonstratie van Pelletier in 1769 over magnetisme. Duidelijk is dat von Kempelen de voordracht niet erg inspirerend vond. Het is niet duidelijk uit de overleveringen



Zelfportret van Johann Wolfgang von Kempelen (1734–1804), die als Hofrat van Maria Theresia van Oostenrijk verantwoordelijk was voor de wederopbouw van het door oorlogsgeweld en natuurrampen verwoeste Banat, een regio rond Timisoara. Hij was ook geïnteresseerd in machines en bouwde niet alleen een schaakautomaat, maar ook een machine die de menselijk stem imiteerde.

of hij toen al aan een schaakcomputer dacht of dat hij die in de loop van de hem gegeven tijd (een half jaar) heeft bedacht. Dat de eerste ‘machine’, die ‘De Turk’ werd genoemd, een mens bevatte doet er even niet toe. Het idee was geboren en veroverde spoedig de wereld. Het duurde tot 1834 voordat het bedrog uitkwam. Edgar Allen Poe bracht het in 1836 in de openbaarheid. Toch had het idee zoveel aantrekkingskracht dat er in 1868 een nieuwe schaakmachine werd geïntroduceerd onder de naam ‘Ajeeb’ en twee jaar later nog een onder de naam ‘Mephisto’.

Intussen ontwikkelde Babbage (1791–1871) zijn *difference engine* en *analytical engine*. Van de laatstgenoemde dacht hij dat bij een goede implementatie de machine zou kunnen schaken. Babbage beschreef vervolgens een Tic-tac-toe-spielend programma dat hij zelf nooit draaiend heeft gekregen.

Een echte belangrijke bijdrage werd geleverd door Torres y Quevedo (1852–1936). Hij ontwikkelde omstreeks 1890 een elektromechanische machine die in staat was om het eindspel Koning en Toren tegen Koning te spelen. In de beginstelling stond de witte koning op a8 en de witte toren op b7. De zwarte koning mocht overal staan. In 1914 verbeterde hij het mechanisme aanzienlijk. In 1953 implementeerde W. L. (Wim) van der Poel de algoritme in een computerprogramma. Bij een demonstratie van het

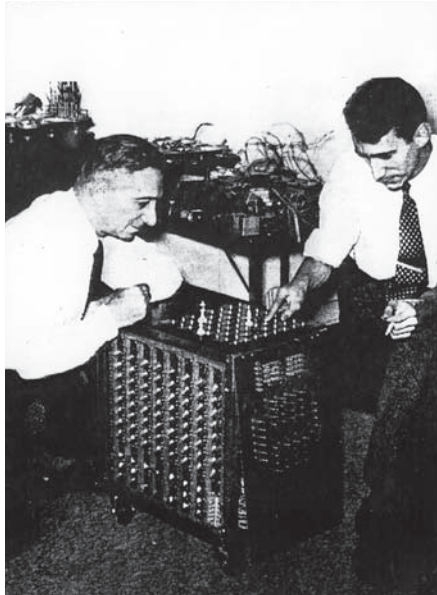
programma vond Max Euwe een fout in de algoritme waardoor het programma meer dan vijftig zetten nodig had.

Toen verscheen von Neumann (1903–1957) op het toneel. Zijn publicatie uit 1928 ‘Zur Theorie der Gesellschaftspiele’ bevat de basis voor de minimax-methode. Het werk kreeg echter pas grote bekendheid toen het in samenwerking met Morgenstern werd gepubliceerd in het boek *Theory of Games and Economic Behavior* in 1944.

Het idee om een computer in te zetten bij het nemen van beslissingen is afkomstig van de Duitse ingenieur Konrad Zuse (1910–1995). In 1934 ontwikkelde hij daarover zijn eerste gedachten. Vervolgens bouwde hij in de periode 1935–1937 de eerste relais-rekenautomaat die door een programma bestuurd werd. Zuses Z3-computer die in 1941 operationeel was, wordt tegenwoordig erkend als Turing-compleet en is daarmee de eerste digitale computer. (Let wel, het eerste computerontwerp wordt toegeschreven aan John Vincent Atanasoff.) Het belang van Zuse voor het computerschaak is gelegen in het ontwerp van de programmeertaal Plankalkül. Hij schreef daarover: “Um klarer zu sehen, wählte ich, u.a., das Schachspiel als Modellfall aus und träumte davon, eines Tages den Schachweltmeister mit einem Computer zu besiegen.”

1940–1950 Schaken in Princeton en Bletchley Park

De eerste helft van dit decennium stond in het teken van de tweede wereldoorlog. Geen tijd voor schaken, of toch? De Engelse regering had in Bletchley een onderzoekscentrum gecreëerd met als voorwaarde voor toelating slim en creatief zijn. Dat een relatie met schaken een impliciete aanbeveling was bleek uit de lijst van bewoners van hut 8: C.H.O. d' Alexander, A.M. Turing, I.J. Good, H. Golombek, P. Hilton en D. Michie (er waren er meer). Als er niet aan code-breaking werd gedaan werd er gebrainstormd over de vraag: hoe zou een computer kunnen schaken? Jack Good gaf later het volgende toe: “This procedure [minimax met evaluatie] seemed obvious to us long before Shannon's paper, and I made the mistake of thinking it was not worth publishing.” Zo kon het gebeuren dat Turing (1912–1954) meer aandacht aan andere zaken besteedde, ook na de oorlog. Turing en Shannon (1916–2001) brachten



Claude Shannon laat zijn zelfgemaakte elektronische schaakautomaat zien aan schaakmeester Edward Lasker.

beiden een jaar in Princeton door als gast van John von Neumann. Ze hebben zelfs gelijktijdig op Bell Laboratories gewerkt. Daar spraken zij elkaar waarschijnlijk een keer of vijftien, twintig tijdens de lunch, aldus Shannon, maar ze werkten op verschillende afdelingen en mochten niet over hun codewerk spreken omdat dat geheim was (Amerika versus Engeland). Ook over computerschaak hadden ze nooit diepgaand van gedachten gewisseld. Shannon herinnerde zich dat hun gesprekken meestal tot onderwerp hadden de relatie ‘human brain–mechanical brain’. Shannons idee was: “Our brain is basically a machine, although it is complicate to simulate.”

Shannon was de eerste. Hij had een lezing over computerschaak bij Bell Labs in 1949 en publiceerde zijn beroemde artikel ‘Programming a computer for playing chess’ in *Philosophical Magazine* (waar anders in die tijd?) in 1950. Het bevatte een beschrijving van drie strategieën (Type A: brute force; Type B: selected search; chess master-like reasoning — later Type C genoemd), evaluatiefuncties met gewichtsfactoren, stability search, de twee dimensionale bordrepresentatie, en een filosofische beschouwing over het spelen van een redelijk briljante partij.

Turing volgde op gepaste afstand wat computerschaak betreft, maar legde wel eerst de grondslag voor de kunstmatige intelligentie met zijn artikel ‘Computing machinery and intelligence’ dat in 1950 werd gepubliceerd. In 1953 volgde: ‘Digi-

tal computers applied to games’. Het werd opgenomen in het boek van B.V. Bowden, getiteld *Faster than Thought*. Turing beschreef naast de waardering van de stukken ook de waardering van de positionele kenmerken. Verder onderscheidt hij het begrip ‘quiescence’ dat bij Shannon onder stability search werd behandeld. Interessant is dat Turing samen met David Chapman ook handsimulaties uitvoerde. Hun programma had de naam TUROCHAMP.

Hoewel Shannon en Turing eigenlijk zonder discussie de eerste twee grote onderzoekers zijn op het gebied van computerschaak, zijn zij voorafgegaan door de Hongaarse onderzoeker Tihamér Nemes (1895–1960) die soortgelijke ideeën had en ze publiceerde in *Magyar Sakkvilág* en *Chess* in 1949. Later publiceerde hij uitvoerige beschrijvingen in *Acta Technica*. Door de koude oorlog duurde het lang voordat deze informatie tot het Westen doordrong.

De ideeën van Shannon en ook van Turing waren mede gebaseerd op experimenteel-psychologisch onderzoek van A.D. de Groot (1914–2006), die in 1946 promoveerde op het proefschrift *Het Denken van den Schaker*, alsmede op de note van Norbert Wiener (1894–1964) die is opgenomen in zijn boek *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Wiener denkt dat het mogelijk moet zijn dat een machine een ‘goede’ partij schaak speelt.

1950–1960 De eerste conferentie over computerschaak

Na de grote onstuimige vloed van ideeën van de kant van Shannon en Turing was het rustig aan het computerschaakfront. Dieter Gunther Prinz wist op een MADM computer aan de universiteit van Manchester het eerste schaakprogramma te implementeren in 1951. Het programma was in staat een mat-in-twee-probleem op te lossen. Om het zoekprogramma te versnellen ontwikkelde Prinz de killer heuristiek. Dat bleek een bijzonder waardevolle bijdrage te zijn voor alle programma’s. Omstreeks deze tijd hield Christopher Strachey, een andere talentvolle medewerker van Turing, zich bezig met draughts (dammen op de honderd velden).

Ook in Los Alamos (New Mexico) raakten onderzoekers geïnteresseerd in intelligente systemen die konden schaken. Van Oppenheimer mocht er in de middagpauzes aan dergelijke ‘frivoliteiten’ worden gewerkt.

Computerbeperkingen leiden tot een beperking van de bordgrootte. Het werd een 6×6-bord (de lopers verdwenen). Dit betekende dat de verhouding van Paard en Toren danig veranderde. De eerste partij werd gewonnen tegen een secretariële medewerkster die speciaal voor deze partij de loop der stukken had geleerd. De tweede partij werd gewonnen door Martin Krushkal (Princeton) die verplicht werd het programma een dame voor te geven. In het verslag van deze twee partijen wordt eveneens Russisch onderzoek door V.M. Kurochin vermeld.

De grote doorbraak in dit decennium was evenwel de Dartmouth-conferentie die in 1956 plaatsvond. John McCarthy was de organisator samen met Marvin Minsky, Nathaniel Rochester en Claude Shannon. Hun opdracht was te onderzoeken of een computer in de toekomst 'intelligentie' en 'leren' zou kunnen simuleren. Onder de deelnemers zien we Herb Simon, Allen Newell, Arthur Samuel en Alex Bernstein.

In 1958 gelukte het de Bernstein-groep (IBM) een schaakprogramma te laten spelen op een 8×8-bord. De aandeelhouders van IBM waren 'not amused' dat hun geld aan dergelijke frivoliteiten werd besteed en T.J. Watson Jr. gelaste dat het onderzoek werd gestopt.

Aan de Amerikaanse universiteiten ging het onderzoek verder. Er zijn drie groepen die de ontdekking van de alfa-beta-algoritme claimen (een zoekalgoritme gebaseerd op de minimax-methode met een uitgekend snoeimechanisme). Newell, Shaw en Simon waren de eersten die erover publiceerden (1958). Het bleek later de eenvoudige snoeiing te zijn. Hun NSS-programma was gebaseerd op de ideeën van De Groot. Het programma was geschreven in een hogere programmeertaal (ook nieuw in die tijd). Samen met George Baylor implementeerde Herb Simon de *null move* in het programma Mater III om te ontdekken of er sprake was van mat-in-1. Dit is het begin geworden van een krachtig snoeimechanisme in het alfa-beta-zoekproces.

De naam *alfa-beta-algoritme* komt overigens van McCarthy. Hij bedacht het toen hij naar een lezing van Bernstein luisterde in de Dartmouth-conferentie. Hij implementeerde het, naar eigen zeggen, als eerste maar vond het niet nodig om het op te schrijven (de algoritme was vanzelfsprekend). Dit is een grappige constatering, want toen Samuel in 1959 zijn grote stan-

daard werk over AI en checkers (dammen op 64 velden) schreef, besteedde hij om dezelfde reden geen aandacht aan de alfa-beta-algoritme. Dat deed hij pas in 1967. Dat was het eerste standaard werk over de alfa-beta-algoritme. Let wel, de algoritme werd in die tijd nog altijd beschouwd als heuristiek en niet als een 'echt' algoritme. In het artikel uit 1959 legde Samuel de nadruk op het leren van de gewichtsfuncties in de evaluatiefunctie. Dat was een doorbraak in het denken over leren (zie Dartmouth-conferentie). Daarmee heeft Samuel toen de basis gelegd voor de huidige successen in machine learning.

1960–1970 De computer speelt mee in een schaaktoernooi

In dit decennium verschoof het onderzoek van slim zoeken naar het *representeren* van kennis. Vooral John McCarthy was een aanhanger van meer kennis in programma's. Aan het MIT vond hij in 1961 bachelorstudent Alan Kotok bereid om een schaakprogramma van dit type te ontwikkelen. Naast veel aandacht voor de evaluatiefunctie implementeerde Kotok een éénzettengenerator (in plaats van twee). Na zijn studie verdween Kotok uit de computerschaakwereld, maar McCarthy nam Kotoks programma mee naar Stanford en werkte daar verder aan de ontwikkeling van een *plausibele* zettengenerator (Shannon B-strategie).

Intussen was aan het ITEP (Instituut voor Theoretische en Experimentele Physica) in Moskou ook de ontwikkeling van een schaakprogramma doorgestaan, onder leiding van George M. Adelson Velsky. Het programma maakte gebruik van een M-20-computer en was ontwikkeld volgens de Shannon A-strategie (brute force).

Op 22 november 1966 begon een match van vier partijen tussen Stanford en ITEP. De partijen vonden gelijktijdig plaats. De zetten werden doorgegeven per telegraaf. Na veertig zetten werd er afgebroken en werden de stellingen geanalyseerd. De eerste overwinning kwam op 10 maart 1967 tot stand. ITEP zette Stanford mat op zet 19. ITEP won nog een partij. Twee partijen werden afgebroken. In beide partijen stond ITEP beter. De eindstand werd bepaald op 3-1. De uitkomst werd gezien als een succes voor brute force.

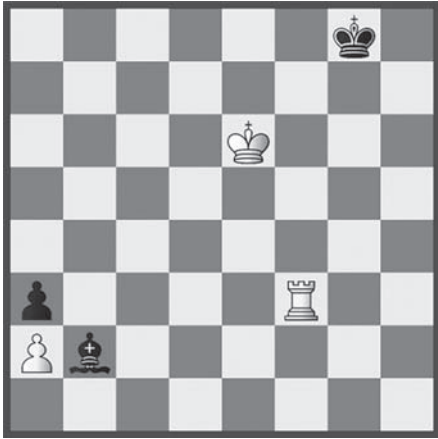
Deze historische ontmoeting werd gevolgd door een nieuwe doorbraak onder leiding van Richard D. Greenblatt, evenals

Alan Kotok een student aan MIT. Greenblatt begon medio november 1966 aan het bouwen van het schaakprogramma Mac Hack Six. In februari 1967 schreef hij het programma in als deelnemer aan een plaatselijk schaaktoernooi. Het was de eerste keer dat dit gebeurde. Mac Hack Six scoorde 0,5 uit vijf partijen, goed voor een rating van 1243 (Klasse D). In het programma waren vier nieuwe ideeën geïmplementeerd: meer kennis in de evaluatiefunctie, meer kennis in de plausibele zettengenerator, een openingsbibliotheek en de implementatie van *secondary search* (een soort *progressive deepening*, ontleend aan De Groot).

Eigenlijk werd het decennium gekarakteriseerd door Greenblatt en Dreyfus. Greenblatt met zijn doorbraak (zelfs Robert J. Fischer heeft tegen het programma gespeeld) en Dreyfus met zijn oppositie tegen Kunstmatige Intelligentie. Het begon in 1965 met de publicatie van 'Alchemy and Artificial Intelligence' dat de kern werd van zijn later publicatie *What Computers Can't Do; A Critique of Artificial Reason*. Simons voorspelling uit 1957 "Unless the rules bar it from competition, within ten years a computer program will be the world champion" werd in 1965 door Dreyfus op de hak genomen met "still no chess program can play even amateur chess, and the world championship is only 2 years away." In 1967 nodigde Seymour Papert de AI-criticus Dreyfus uit voor een partij tegen Mac Hack Six. Dreyfus verloor in 37 zetten. Het zegt niets, alleen dat Dreyfus niet goed is in schaken.

1970–1980 Het eerste wereldkampioenschap computerschaak

Zoeken en alles willen weten, zou dat te combineren zijn in het schaken? Misschien is het voor het gehele spel iets te hoog gegrepen, maar in eindspelen zou het toch mogelijk moeten zijn om tot perfecte kennis te komen. Zo dacht ook Thomas Ströhlein. Het gaat dan immers om het opslaan van de stellingen met hun bijbehorende theoretische waarde (gewonnen, remise, verloren), gevolgd door een getal dat aangeeft hoeveel zetten die bepaalde positie nog van het eindresultaat verwijderd is. Dit is de meest eenvoudige vorm van een database. In 1970 was Thomas Ströhlein de eerste onderzoeker die deze constructie in de computerschaakwereld bracht en wel voor de eindspelen KTK, KDK, KTKL, KTKP, KDKT (K=Koning, T=Toren, D=Dame, L=Loper,



De stelling uit de partij Timman–Velimirovic (1979). Is deze stelling gewonnen voor wit? Dat was een onderzoeksvraag in het computerschaak in de jaren tachtig van de vorige eeuw.

P=Paard). Daarna volgden veel onderzoekers zijn voorbeeld. Er kwamen nieuwe metrieken, zoals afstand tot mat, afstand tot conversie. De subtiliteit ligt voor een deel in de remiseregels dat binnen vijftig zetten er een stuk geslagen moet zijn of een pion verschoven (afgezien van met name benoemde uitzonderingen). Een beroemd voorbeeld is Timman–Velimirović (1978) dat in 1986 volledig is uitgeanalyseerd met de databasetechniek.

Tot 1975 werd de alfa-beta-algoritme beschouwd als een heuristiek, een goed werkende heuristiek, maar niet meer dan dat. Brudno (1963) was eigenlijk de eerste onderzoeker die getracht heeft een lijn te brengen in de experimentele resultaten tot dan toe. Er waren twee ideeën in omloop: (1) de algoritme is buitengewoon gevoelig voor de volgorde van de te onderzoeken stellingen (vandaar dat eerst schaakzetten, slagzetten en killerzetten onderzocht werden). Toen kwam J.J. Scott in 1969 met het idee om (2) de volgorde van de zetten door de algoritme zelf te laten bepalen. Dit is het idee van de iteratieve alfa-beta-algoritme. Hij is later verscheidene keren onafhankelijk herontdekt, bijvoorbeeld door Jim Gillogly (Carnegie Mellon), David Slate en Larry Atkin (North Western University) en het Russische Kaissa-team.

In een fundamenteel artikel dat in 1975 gepubliceerd werd, tonen Donald Knuth and Ronald Moore aan dat de toepassing van de alfa-beta-algoritme altijd dezelfde waarde oplevert als de minimax-algoritme. Daarmee werd de algoritme van zijn heuristische karakter ontdaan. Voor de theoretici was het een grote stap. De experi-

mentele onderzoekers hadden dit altijd al gedacht.

Natuurlijk was het voor hen (de experimentele onderzoekers) nog steeds van het grootste belang om de beste zet het eerst te kunnen onderzoeken. Kortom, heuristieken zijn nodig voor tijdwinst. Dat geldt ook voor denken in de tijd van de tegenstander. Dus als je een *principal variation* kunt bepalen dan kan je anticiperen op de zet van de tegenstander en op die manier alvast een zet voorbereiden. In het gunstigste geval kun je a tempo antwoorden als de tegenstander zijn/haar zet speelt. Ook in de representatie van bord en stukken vonden veranderingen plaats door toepassing van de bit-representaties (afhankelijk van de woordlengte van de computer). Hieraan zijn de namen verbonden van Adelson Velsky en zijn team (1970). Onafhankelijk is het herontdekt door Hans Berliner (1974) en ook door Slate en Atkin (1977).

Al deze zaken begonnen belangrijk te worden omdat speciale computerschaaktoernooien het licht begonnen te zien. De belangrijkste zijn: het North American Computer Chess Championship (NACCC) dat georganiseerd werd door de ACM en plaatsvond van 1970 tot 1994 en het World Computer Chess Championship (WCCC), dat aanvankelijk georganiseerd werd door IFIP (1974–1977) en daarna door de ICCA/ICGA (vanaf 1980). Eerst eens in de drie jaar, daarna onregelmatig met de intentie ieder jaar een toernooi te organiseren.

Voorts is er van 1980 tot 2001 een World Microcomputer Chess Championship (WMCC) geweest en wordt er sinds 2010 ook een World Chess Software Championship (WCSC) georganiseerd. De resultaten staan op de Wikipedia-pagina over de WCCC. Sinds 2010 is er ook een Unofficial WCCC dat onder de naam van Top Chess Engine Championship (TCEC) wordt georganiseerd.

Voor het Russische Kaissa-team was het winnen van het eerste wereldkampioenschap voor computers in Stockholm 1974 een geweldige onderstreping van hun activiteiten op dit gebied. De belangrijkste bijdragen voor dit succes kwamen van Mikhail Donskoy en Vladimir Arlazarov. Het tweede kampioenschap in Toronto 1977 werd gewonnen door het programma Chess 4.6 van David Slate en Larry Atkin. Aan het einde van dat kampioenschap werd de International Computer Chess Association opgericht onder voorzitterschap van Benja-

min Mittman die ook hoofdredacteur werd van de *ICCA Newsletter*.

Een jaar na het eerste wereldkampioenschap werd in 1975 de eerste Advances in Computer Chess Conference (ACC) georganiseerd in Londen. Dit was het begin van een zeer vruchtbare uitwisseling van ideeën over computerschaaktechnieken. Aanvankelijk werden ze georganiseerd met een interval van drie jaar; later werd dit om de twee jaar met daartussen in de serie Conferences on Computers and Games (CG). Voor een volledige opsomming van boeken en *proceedings* verwijzen we naar de overvloedige literatuur.

Door deze bijeenkomsten werd de uitwisseling van informatie aanzienlijk versneld en vond er een grotere integratie van AI-technieken en computerschaaktoepassingen plaats. Met name het werk van Arthur Samuel vond zijn weg. Zo riep het werk van J.R. Quinlan (1979), ‘Discovering rules by induction from large collections of examples’, gepubliceerd in D. Michie (ed.), *Expert Systems in the Micro Electronic Age*, Edinburgh University Press, veel positieve reacties op van onderzoekers die begrijpelijke (*human intelligible*) regels wilden afleiden uit eindspeldatabases (zie Ströhlein, 1970).

1980–1990 Ken Thompson bouwt Belle

In 1980 werd de kennisexplosie zichtbaar in erkenning, verdere groei van activiteiten en een groot aantal publicaties van nieuwe ideeën. Veel van deze ideeën vonden hun weg in de computerprogramma’s van de onderzoekers. In dit decennium valt de nadruk op parallelisme. De toponderzoeker uit die tijd is zonder enige twijfel Kenneth Lane Thompson (1943). In de periode 1969–1985 verrijkte hij de wereld met bijdragen aan het besturingssysteem Unix (samen met Dennis Ritchie). Hij ontwierp de taal B en was betrokken bij de ontwikkeling van de taal C. Samen met Joe Condon bouwde hij het schaakstelsel Belle (het was niet alleen een programma maar een technologische entiteit). Belle was het eerste programma dat in 1983 officieel de US Chess Master titel ontving en op grond daarvan de eerste Intermediate Fredkin Prize van \$5000 kreeg toegekend. Verder genereerde Thompson ook veel nieuwe vijf-man-eindspeldatabases. Belle bracht hem in Linz 1980 de wereldtitel. In 1983 ontving hij samen met Dennis Ritchie tijdens het wereldkampioenschap computer-

schaak in New York de Turing Award voor hun hierboven genoemde bijdragen en vervolgens in 1998 de National Medal of Technology uit handen van Bill Clinton. Het was een grote verrassing dat hij in 1983 Belles wereldtitel niet prolongeerde, maar werd opgevolgd door Cray Blitz. Dit maakte toen ineens voor iedereen duidelijk: computerschaak is een combinatie van hardware en software. Robert Hyatt, Harry Nelson en Albert Gower hadden snelle transpositietabellen en nog snellere multiprocessors. De Cray Supercomputer was geboren en in gebruik genomen.

De ideeënontwikkeling ging vervolgens in een razend tempo verder. Het ene idee was nog niet gepubliceerd of het ander was alweer gelanceerd. In 1980 publiceerde Judea Pearl zijn Scout-algoritme en dat was een schot in de roos, want goede ideeën zijn niet zelden de aanleiding voor nog betere ideeën. In 1983 had ik als hoofdredacteur de *ICCA Newsletter* omgevormd tot *ICCA Journal*. De ontvangst was fantastisch. In het eerste nummer ontving ik een bijdrage van Botwinnik. Daarna volgde Jonathan Schaeffers History Heuristic. Voor het tweede nummer stuurde Alexander Reinefeld mij het artikel 'An improvement to the scout tree search algorithm'. Hij noemde het Negascout. Het werd een succes in menig schaakprogramma. In 1987 introduceerde Don Beal Null Move Quiescence Search (NMQS) om ook in de uiteinden van de zoekboom zo efficiënt mogelijk te werk te gaan.

Organisatorisch gezien gebeurde er eveneens veel, ook in Nederland. Op 18 oktober 1980 werd de Computer Schaak Vereniging Nederland (CSVN) opgericht. Er waren direct al 622 leden. De CSVN zou vervolgens ieder jaar een Nederlands kampioenschap houden. International besloot de ICCA om vanaf 1980 ieder jaar een World Microcomputer Chess Championship te organiseren. Dat gebeurde zo tot 2001.

Intussen was de TU Delft ook in de ban van het computerschaak geraakt. Dat kwam door mijn eigen onderzoek: promotie in 1983 op het proefschrift *Computerschaak, Schaakwereld en Kunstmatige Intelligentie* (promotors H.J.M. Lombaers, A.D. de Groot en S.J. Doorman). Bovendien vond de studievereniging Christiaan Huygens het ook een mooi onderwerp voor haar vijfde lustrum in 1982. Een openbaar debat in 1981 op de achterkant van *NRC Handelsblad* tussen Grootmeester Donner en mij leidde op 5 maart 1982 tot de ontmoeting Donner-Belle. Het was een fascinerende bijeenkomst, niet in het minst door de aandacht van de pers. Donner won in 56 zetten, maar de trend was gezet. Donner vergeleek het spel van Belle met dat van zijn nichtje van vier, maar ik zag het als een stap voorwaarts in de richting van een match met de wereldkampioen. Naast het programma Pion (Derksen en Huisman) legde het Delftse onderzoeksteam (Dekker, Nakad, Van den Herik) zich ook toe op het creëren van bijzondere vijf- en zes-man-

eindspeldatabases, zoals twee paarden tegen een pion en het Timman-Velimirović-eindspel (toren tegen looper en aan beide zijden een a-pion). Harry Nefkens ontwikkelde de openingsbibliotheek voor Pion en koos voor het opslaan van stellingen in plaats van varianten. Zo kon hij vele grootmeesterpartijen aan de openingsbibliotheek toevoegen. Dit inspireerde Dap Hartmann tot het bouwen van de zogeheten Dap Tap, een mechanisme om patronen te herkennen die het zoekproces kunnen ondersteunen. Deze techniek is later ook in Deep Blue gebruikt. In die tijd publiceerde De Groot 'Intuition in chess' (1986). Hij dacht dat intuïtie een essentieel onderdeel was om schaakgrootmeester/wereldkampioen te kunnen zijn. Volgens hem viel intuïtie niet te programmeren. Dus een computer zou de wereldkampioen nooit kunnen verslaan.

In diezelfde tijd was er aan Carnegie Mellon University grote activiteit te bespeuren. Daar werkte sinds 1969 Hans Berliner (1929–2017), de vijfde wereldkampioen correspondentieschaak (1965–1968), aan computerschaak-onderwerpen. Hij promoveerde in 1974 bij Allen Newell op *Chess as Problem Solving: The Development of a Tactics Analyser*. Hij kreeg onvoldoende greep op de evaluatiefunctie en besloot nieuwe ideeën toe te passen op Backgammon. Het resultaat was dat zijn programma BKG9 (gebaseerd op fuzzy logic) in juli 1979 wereldkampioen Luigi Villa versloeg met 7-1. Het was voor het eerst dat een wereldkampioen in een willekeurige sport van een computerprogramma verloor. Vervolgens ontwikkelde Berliner de B*-algoritme. Deze en andere ideeën lagen ten grondslag aan HiTech. Met zijn team (onder anderen Carl Ebeling en Murray Campbell) werkte hij dag en nacht aan het nieuwe programma, dat gebaseerd was op multiprocessing, speciale circuits en kennis-uitbreidingen via transitities.

Een belangrijke bijdrage in die tijd was ook 'Using time wisely' van de hand van Bob Hyatt (1984). Hiermee gaf hij de lezer een goede indruk hoe de tijd verdeeld moest worden over de verschillende taken die zich binnen een programma afspeelden. Voorts is zeer noemenswaardig Hash Tables in Cray Blitz (Nelson, 1985) en de ontwikkeling van nieuwe Search Tables (Warnock en Wendroff, 1986). Daarnaast werden nieuwe zoektechnieken ontwikkeld zoals *Parallel alpha-beta search* (Newborn,



Ken Thompson, Claude Shannon en David Slate bij het 6e wereldkampioenschap computerschaak in Edmonton (Alberta), 1989. Bron: Monroe Newton.

Jan Hein Donner versus Belle

In 1982 werd Jan Hein Donner uitgedaagd tot een partij tegen Belle, door de auteur van dit artikel, via een open brief in *NRC Handelsblad*. In die tijd dachten schakers dat de computer nooit zou winnen van de mens. Dat blijkt ook wel uit het volgende fragment van het antwoord van Donner in dezelfde krant:

“Ik weet heel goed wat computers kunnen of hoe een schaakprogramma opgezet zou kunnen worden, maar juist daardoor weet ik ook hoe waardeloos de dure prullen zijn die jij regelmatig in *De Telegraaf* aanbeveelt. Het vraagstuk van de zogenaamde Artificiële Intelligentie voert zeker tot boeiende gedachtenexperimenten, maar waar ik bezwaar tegen maak, is dat dit begrip door de elektronische industrie gebruikt wordt om mensen knollen voor citroenen te verkopen... Overigens wil ik best tegen jullie ‘wereldkampioen’ een schaakje zetten, hoe belachelijk dat ook moge zijn... Helaas leert de ervaring dat je al reclame voor die onzin maakt, door er uit de losse pols tegen te spelen. ‘Speelde tegen een echte grootmeester’ zeggen jullie dan, of ‘Donner had er toch maar 39 zetten voor nodig’. Dat is stuitend, maar goed, ik ben nu eenmaal beroepsspeler.”

Uiteindelijk kwam het tot een partij op 5 maart 1982, gespeeld op de Faculteit Wiskunde en Informatica van de TU Delft. Donner won overtuigend, in 56 zetten.

1982; Bal en Van Renesse, 1989) en Conspiracy Number Search (McAllester, 1987).

Na tweemaal een wereldkampioenschap van Cray Blitz (1983 en 1986) wist Deep Thought (net als HiTech afkomstig van Carnegie Mellon) in 1989 de wereldtitel te veroveren. De strijd tussen de twee Carnegie Mellon-teams was adembenemend, te meer omdat Murray Campbell voor beide teams werkzaam was. Hij was de *trait d'union* die alle geheimen bij zich droeg. In de eindstrijd zat hij samen met Hans Berliner achter de stukken van HiTech tegenover Feng-hsiung Hsu en Thomas Anantharaman, die de zetten voor Deep Thought uitvoerden.

Toch is het goed om even bij deze interne competitie stil te staan. Hans deed het goed, hij was een *crack*. Maar Feng-hsiung Hsu was een *rising star* die wilde doorbreken. Hij wist alles beter en dat was ook zo. Hij was intelligent, ontwierp in 1985 Chiptest (in 1988 Deep Thought genoemd) en verzamelde slimme mensen om zich heen. Hans aasde op de Fredkin Intermediate Prize van \$10.000. Inderdaad versloeg HiTech Grootmeester Denker (die in Groningen 1946 remise tegen Botwinnik had gespeeld) in 1989, maar een jaar eerder had Deep Thought in een sterk grootmeestertoernooi al van de Deense Grootmeester Bent Larsen een echte seriëuze partij gewonnen. Het was de eerste keer dat een grootmeester van wereldklasse door een programma verslagen werd. Daarom werd in 1988 de tweede Inter-

mediate Fredkin Prize aan Deep Thought toegekend.

1990–2000 Deep Blue verslaat de wereldkampioen

Alle bovengenoemde activiteiten waren in het laatste decennium van de vorige eeuw mogelijke bronnen van inspiratie tot grote successen voor twee Nederlandse programmeurs. Ze waren geen academische onderzoekers, maar ze waren vakmensen van het hoogste niveau, van wereldklasse. In Vancouver 1991 won Ed Schröder met het programma Gideon het WMCC, zij het gedeeld met Mephisto. In Madrid 1992 veroverde Ed Schröder daarenboven het wereldkampioenschap (WCCC) in alle categorieën met het programma The ChessMachine Schröder. Het was een microcomputer, maar met een formidabele sterkte. Schröder had zich in Keulen 1986 met het programma Rebel al eerder in de kijker gespeeld door tot in de laatste ronde kanshebber te zijn voor de titel. Nu, in 1992 was het dan zover. Het leverde hem veel roem en erkenning op.

Na 1989 had het Deep Thought team zijn zinnen gezet op het ontwikkelen van een programma dat de menselijke wereldkampioen zou verslaan. Daarbij werden ze gesteund door IBM. Als onderzoekers en bouwers was het team heel hard bezig met het bereiken van hun doel en daarom had het zich teruggetrokken van de gewone competities. Na zes jaar kwam het team tevoorschijn bij het WCCC 1995 in Hong Kong

en speelde daar onder de naam Deep Blue. Het toernooi was bijzonder sterk bezet. Vanuit MIT speelde Star Socrates mee, een programma van Don Dailey, Christopher Joerg en Charles Leiserson, met schaaqtechnische ondersteuning van Larry Kaufman. Zij werden uiteindelijk tweede. Om een lang verhaal kort te maken, in de laatste ronde speelde het programma Fritz van de andere Nederlandse top-programmeur Frans Morsch (toen 3 uit 4) tegen Deep Blue (toen 3,5 uit 4). In een heel spannende partij won Fritz overtuigend, zonder Deep Blue ook maar een enkele kans te geven. Fritz was wereldkampioen. Star Socrates was tweede en Deep Blue derde. Wat nu?

Aan het einde van het toernooi besloot IBM zijn plannen toch te onthullen en was er een persconferentie waarop meegedeeld werd dat IBM met Deep Blue een poging ging wagen om in 1996 wereldkampioen Kasparov uit te dagen met een verbeterde versie van het huidige programma. Dat was de inleiding tot een nieuwe fase in de historie van het computerschaak (Zuses droom was nu wel heel dichtbij gekomen).

In 1994 lanceerde Bob Hyatt het open-sourceprogramma Crafty. Tot dan toe was er slechts een redelijk sterk opensourceschaakprogramma genaamd GNU Chess, het was een loot van het bekende GNU-project. Nu was er een programma dat kon dienen als tegenstander, oefenpartner, en zelfs als deelnemer aan de wereldkampioenschappen (een door een Indonesisch team verbeterde versie speelde in Jakarta 1996 mee voor het wereldkampioenschap met instemming van de deelnemers). Hyatt is een pionier die veel heeft bijgedragen aan de ontwikkeling (zie eerder). Hier noemen we: een evaluation cache, transpositietabellen, bit-board datastructures, en rotated bitmaps.

Al dit onderzoek was mede-gestimuleerd door het initiatief van David Levy om in 1989 samen met Don Beal een computerolympiade te organiseren in Londen. Van de opeenvolgende computerolympiades leerden de onderzoekers twee zaken: (1) computerschaak was nog altijd de stimulans om andere spelen te onderzoeken, en (2) misschien was het moeilijkste spel ter wereld, Go, wel een waardige onderzoeksopvolger van het edele schaakspel. Duidelijk was dat er verschuiving van aandacht plaatsvond. Dit leidde ertoe dat de ICCA in 2002 officieel van naam veranderde van

ICCA naar ICGA (International Computer Games Association).

De grootste omwenteling in het decennium 1990–2000 was het verslaan van Kasparov. Het werd voorafgegaan door een oefening in wachten en verbeteren. In de eerste match Kasparov–Deep Blue (1996) speelde Deep Blue op een RS/6000 SP-machine met 36 processoren. De eerste partij werd op 11 februari 1996 gespeeld en leek voorbestemd om een nieuw tijdperk in te luiden, omdat Deep Blue overtuigend won. Dat bleek evenwel niet het geval te zijn, want Kasparov besliste de match met 4–2 in zijn voordeel. Een jaar later (1997) kwam er een tweede match. De hardware en de structuur van het programma bleven nagenoeg hetzelfde. Er werd meer getraind met grootmeesters (Larry Christiansen en Michael Rohde), hoewel ook voor de eerste match drie grootmeesters testpartijen hadden gespeeld.

De tweede match begon met een enorme dreun voor het IBM-team, Kasparov won overtuigend. Het Deep Blue-team likte de wonden en vatte nieuwe moed. In de tweede partij liet Deep Blue sterk openingsspel (gesloten Spaans) zien en bracht Kasparov in een moeilijke positie. Als Deep Blue toen op pionwinst gespeeld had, zou de partij tactisch zeer gecompliceerd zijn geworden. Deep Blue speelde echter de prachtige zet 37. Le4. In hogere zin was de partij beslist. Weliswaar speelde Deep Blue daarna met 44. Kf1 nog een zwakke zet, maar uiteindelijk won het programma en daarmee kwam de stand op 1-1. Het werd vervolgens 2,5-2,5. De match zou dus in de zesde partij beslist worden. Kasparov speelde te uitdagend in de opening en kwam via een stukoffer in een verloren positie terecht. Een verdiende overwinning van Deep Blue. Zuses droom was vervuld. De verkoop van de IBM-computers steeg, maar Kasparov speelde zijn laatste kaart. Hij verklaarde op persconferenties, in publicaties en op gewone conferenties dat grootmeesterlijke (dus menselijke) hulp ten grondslag lag aan 37. Le4. Zo was ook 44. Kf1 een menselijke fout. Beide zetten zouden nooit door een weldenkende computer gespeeld kunnen zijn. De eerste zet was te goed en de tweede te slecht. Voor zijn prestatie ontving het Deep Blue-team de Fredkin Prize van \$100.000. IBM heeft op grond van publicitaire overwegingen Deep Blue niet meer laten spelen. Einde

van een prachtig traject. Toch gingen de ontwikkelingen verder.

2000–2010 Schakers zijn kansloos tegen de computer, wanneer volgt Go?

De grote vraag van het eerste decennium in de nieuwe eeuw was: wanneer kunnen microcomputers de menselijke wereldkampioen verslaan? Een tweede gerelateerde vraag was: wanneer gaan grote (of micro-) computers de ELO-grens van 3000 punten passeren? Tijdens de WCCC 1999 was het de microcomputer Shredder gelukt om in een beslissingspartij om de wereldtitel het programma CilkChess (spelend op een supercomputer) te verslaan. Hardware en snelheid zijn belangrijk, maar slimme algoritmen spelen hun eigen rol. In 2001 werd de laatste WMCC gespeeld. In 2003 speelde Kasparov tegen veelvuldig WMCC-winnaar Deep Junior een match van zes partijen. Het werd 3-3. In 2005 speelde Hydra tegen Michael Adams (ooit nummer 4 op de wereldranglijst): de uitslag was 5,5–0,5. Daarna speelde Deep Fritz tegen toenmalig wereldkampioen Kramnik een match van zes partijen. Deep Fritz won afgetekend met 4-2. Daarmee was de eerste vraag beantwoord. Ook een microcomputer was sterker dan de wereldkampioen.

Door de combinatie van WCCC, olympiade en conferentie was er veel interactie en zag het Go-onderzoek kans om verder op te rukken in de belangstelling. Aanvankelijk ging het traag omdat de alfa-beta-minimax-methode niet erg geschikt was voor Go (het lag niet aan de branching factor, de grote zoekruimte of de complexiteit zoals menigeen dacht, maar aan de moeilijkheid van de juiste evaluatie — zie ook de problemen die Berliner had in 1974–1979). De Franse onderzoeker Bruno Bouzy had een oplossing: vermijd alle evaluaties en kijk tot het einde van de variant en doe dat voor een grote (beperkte) verzameling van zetten die random gekozen zijn.

De implementatie van het idee in het programma Indigo leidde in de olympiade-toernooien tot posities in de middenmoot, tot publicaties in de *ICGA Journal* en tot zijn Habilitation thesis (2004). Het bleek na verloop van tijd evenwel de opening naar een nieuw terrein van onderzoek. Op de CG 2006 conferentie lanceerde Remy Coulom de gedachte om met Monte Carlo-searchtechnieken de zoekruimte te doorkruisen. Iedereen in de zaal in Turijn voelde: dit is de richting die we voor Go moe-

ten gaan. Twee belangrijke bijdragen aan de verdere ontwikkeling van deze technieken zijn van (1) Kocsis en Szepesvári (2005) die de UCT-formule ontwierpen en (2) Chaslot, Winands, Uiterwijk, Van den Herik en Bouzy (2008) die de Monte Carlo Tree Search (MCTS) ontwierpen, waarmee de ideeën van Coulom in een dedicated framework werden ondergebracht. In deze zich onstuimig ontwikkelende Go-wereld ging het computerschaak zijn eigen weg: naar perfectie van speelsterkte en perfectie van efficiënte algoritmen.

In 1999 had Shredder de hegemonie van de supercomputer gebroken. Vanaf dat moment zien we dat de microcomputers Shredder en Deep Junior de WCCC domineren. In 2005 kwam daar verandering in. Twee programma's kwamen uit het niets en regeerden met straffe hand de WCCC in Reykjavik. Zappa (Anthony Cozzie) werd wereldkampioen met 10,5 uit 11 en Fruit (met Fabien Letouzey) werd tweede met 8,5 uit 11. Het leek even dat er een nieuwe tijd aanbrak maar het liep anders. Zappa verdween na 2007 uit de arena en Fruit had zijn programma publiekelijk beschikbaar gesteld om tegen te spelen en ideeën uit op te doen, maar niet om daar modules aan te ontlenen. Zelf ging Letouzey iets anders doen om vervolgens jaren later mee te spelen in de computerolympiade met het Draughts-programma Scan. Junior (zonder Deep) en Shredder hernamen hun vroegere posities en in Turijn 2006 werd Junior wereldkampioen; Shredder en Rajlich (later Rybka genoemd) werden gedeeld tweede. In Amsterdam 2007 toonde Rybka zich de sterkste. Dat bleef zo in Beijing 2008, Pamplona 2009 en Kanazawa 2010.

In de Go-wereld was een soortgelijke trend waarneembaar. Daar trok het programma MoGo alle aandacht naar zich toe. De kracht van MCTS nam steeds meer toe, omdat de juiste wijze van kennis toevoegen aan het zoekproces was gevonden; nog wel niet volledig, maar toch in voldoende mate om het random effect te sturen. Volgens sommigen zou het komende decennium het sluitstuk vormen, volgens anderen lag dat zeker nog wel een decennium verder.

2010–2016 De strijd tussen de schaakcomputers

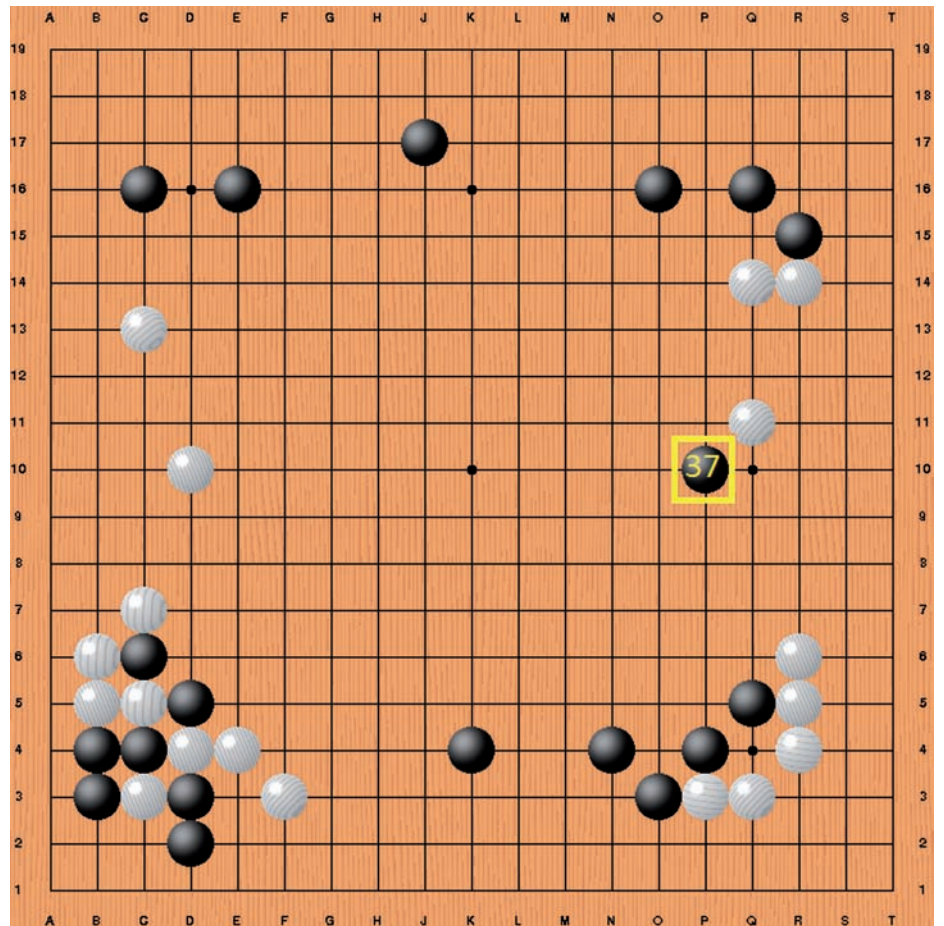
Schaken bleef in de belangstelling en computerschaak helemaal, ook nadat de menselijke wereldkampioen was versla-

gen. Veel techniekgeïnteresseerden maakten hun eigen programma's uit andere programma's. Het leidde tot supersterke programma's zoals Houdini en Stockfish. Alleen vond de ICGA dat ze niet aan het wereldkampioenschap konden deelnemen, omdat het daar ging om originele programma's, dat wil zeggen het deelnemende programma moest door de programmeur (of het team van ontwikkelaars) bedacht en geïmplementeerd zijn. De regels voor toelating werden strenger en af en toe werd er een programma geweigerd of zelfs gediskwalificeerd wegens plagiaat. Het was een ingewikkelde clash van wetenschap en techniek, van amateurs en professionals, van uitvinders en dieven. De regels werden gecompliceerder en de druk van de professionele liefhebber (het doet er niet toe waar de algoritmen vandaan komen) werd groter.

Op 23 januari 2011 kwam de zaak Rybka-Fruit tot een openbare clash. Fabian Letouzy schreef een open brief aan het ICGA-bestuur met de mededeling dat de programmeur van Rybka (Vasik Rajlich) zijn werk geplagieerd had. Dat leidde tot diepgaand onderzoek en een technische commissie van het hoogste kaliber (onder anderen Ken Thompson). De commissie deed zijn werk zeer nauwkeurig en kwam tot de conclusie dat de klacht van Letouzy toegewezen diende te worden (er waren zelfs stukken code aangetroffen met oorspronkelijk commentaar van Letouzy). Dit betekende dat Rybka van alle podiumplaatsen in de WCCCs en de WCSCs vervallen werd verklaard. Er kwamen nieuwe wereldkampioenen en nieuwe runner-ups. De computerschaakwereld stond op zijn kop. De ontwikkelingen gingen evenwel snel door. Johannes Zwanzger voegde zich na jarenlang hard werken met het programma Jonny aan de top. Shredder handhaafde zich en Junior verdween van het toneel. Betrekkelijke nieuwkomer was Komodo. Het was een programma uit de MIT-stal van Don Dailey, dat onderhouden en vernieuwd was door Mark Leffler en van nieuwe schaak-ideeën was voorzien door Larry Kaufman. Zij domineerden de jaren 2015–2017, getuige de uitslagen van de WCCCs en WCSCs in Leiden.

2017 De computer verslaat de wereldkampioen Go

Intussen werd de schaakwereld geholpen door de Go-wereld. Het bedrijf DeepMind



Zet 37 van AlphaGo in de tweede matchpartij tegen Lee Sedol. De commentatoren reageerden met ongeloof en deden de zet af als een beginnersfout, omdat de steen pardoes in het open veld werd geplaatst. Zoiets zou een mens nooit doen. Lee Sedol was zichtbaar verbaasd, verzonk in gedachten en ontdekte de kracht van de zet. De mens kan dus ook leren van de computer!

bleek in staat om met behulp van deep learning een neurale netwerk te creëren, dat, door tegen zichzelf te spelen, de details van het spel op een tot dan toe ongeëvenaarde wijze in kaart wist te brengen. DeepMind ontwikkelt het programma AlphaGo, dat in 2015 de Europese kampioen Fan Hui verslaat met 5-0. Een verbeterde versie verslaat in 2016 de veelvuldige wereldkampioen Lee Sedol met 4-1. In mei 2017 verslaat het wereldkampioen Ke Jie, algemeen gezien als de beste speler ter wereld, met 3-0.

In het najaar van 2017 komt DeepMind met machines die zichzelf hebben leren spelen, zonder te zijn gevoerd met menselijke partijen: de Go-machine AlphaGo Zero en de schaakmachine AlphaZero. Na verloop van tijd besluit DeepMind dat de programma's sterk genoeg zijn om ze te testen tegen andere computers. AlphaGo Zero verslaat AlphaGo met 100-0. Als tegenstander van AlphaZero wordt gekozen voor het programma Stockfish, met een geschatte

rating van boven 3400. Ter vergelijking, de menselijke wereldkampioen Magnus Carlsen heeft een rating van minder dan 2900. Dat betekent dat, naar verwachting, Carlsen in tien partijen tegen Stockfish eentje remise houdt en de rest verliest. AlphaZero wint een match van 100 partijen met 28-0 (bij 72 remises), in schaaktermen met 64-36. Einde verhaal. De nabeschouwing laat ik aan de lezer over. Er is nog één onderzoeksuitdaging over: het vaststellen van de speltheoretische waarde van het schaken. ☞

Dankwoord

Graag bedank ik alle mensen met wie ik in de laatste veertig jaar mocht samenwerken. Zonder hen was dit artikel niet mogelijk geweest. Ik zie af van het noemen van namen evenals van het geven van referenties. Een goede lijst zou langer zijn dan het artikel zelf. Wel bedank ik met name Robbert Fokkink, hoofdredacteur, zonder wiens vasthoudendheid dit historisch overzicht niet geschreven zou zijn. Ten slotte bedank ik het redactieteam dat mij heeft ondersteund samen met Ron de Goeij.